

Research Report

수확 전·후 1-MCP처리가 '후지' 사과의 저온저장 중 과실품질에 미치는 영향

유진기^{1†}, 강봉국^{1†}, 이진욱¹, 김대현¹, 이동훈², 정희영³, 최동근⁴, 정명근⁵, 최인명⁶, 강인규^{1*}¹경북대학교 원예과학과²국립원예특작과학원 기획조정과³경북대학교 응용생명과학부⁴전북대학교 원예학과⁵강원대학교 생약자원개발학과⁶국립원예특작과학원 과수과

Effect of Preharvest and Postharvest 1-Methylcyclopropene (1-MCP) Treatments on Fruit Quality Attributes in Cold-stored 'Fuji' Apples

Jingi Yoo^{1†}, Bong Kook Kang^{1†}, Jinwook Lee¹, Dae Hyun Kim¹, Dong Hoon Lee², Hee-Young Jung³, DongGeun Choi⁴, Myoung-Gun Choung⁵, In Myung Choi⁶, and In-Kyu Kang^{1*}¹Department of Horticultural Science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea²Planning and Coordination Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Wanju 565-852, Korea³College of Agriculture and Life Science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea⁴Department of Horticulture Science, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea⁵Department of Herbal Medicine Resource, Kangwon National University, Dogye Campus, Hwangjori #3, Dogye-up, Samcheok 245-907, Korea⁶Fruit Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Wanju 565-852, Korea

Abstract: This work was carried out to evaluate the effects of preharvest 1-methylcyclopropene (1-MCP, Harvista™) and postharvest 1-MCP (SmartFresh™) treatments on the fruit quality attributes of cold-stored 'Fuji' (*Malus domestica* Borkh.) apples. Fruits were exposed to 0, 95, 125, or 250 mg·L⁻¹ Harvista™ at 3, 2, 1 weeks before harvest (WBH), and treated with 0 or 1 μL·L⁻¹ SmartFresh™ at harvest. Fruit was then stored for up to 180 days at 0 ± 1°C. Fruit fresh weight, Hunter's value a, internal ethylene concentration (IEC), flesh firmness, titratable acidity (TA), and soluble solids content (SSC) in fruit treated with Harvista™ were not different from those of control fruit at harvest. During cold storage, flesh firmness and TA were higher in fruit treated with 250 mg·L⁻¹ Harvista™ at 2 and 3 WBH than in control fruit. IEC was 5.5-10.0% lower in fruit treated with 250 mg·L⁻¹ Harvista™ at 2 and 3 WBH compared with control fruit as storage duration progressed, while SSC was not affected. Furthermore, flesh firmness, TA, and IEC were affected neither by Harvista™ nor Harvista™ + SmartFresh™ treatments, compared with those fruit quality attributes at harvest. The correlation maps indicated that IEC was negatively correlated with firmness and TA, regardless of Harvista™ application levels. In addition, positive correlations between fruit quality attributes were detected in treatments with 250 mg·L⁻¹ Harvista™ + SmartFresh™. Therefore, the results suggest that with a single application of SmartFresh™, a higher level of Harvista™ application would help in retention of fruit quality attributes during cold storage.

Additional key words: firmness, Harvista™, internal ethylene concentration, SmartFresh™, titratable acidity

*Corresponding author: kangik@knu.ac.kr

†These authors contributed equally to this work.

※ Received 25 March 2015; Revised 22 April 2015; Accepted 2 May 2015. 본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(PJ01048102)의 지원에 의해 수행되었음.

© 2015 Korean Society for Horticultural Science

서 언

최근 국가 간 자유무역협정(FTA)이 전세계적으로 확대됨에 따라 내수시장의 안정화를 위하여 국내에서도 수출시장 개척을 위한 노력을 기울이고 있다. 과실 수출 시 경쟁력을 확보하기 위한 방안으로 재배기술을 통한 상품과 생산도 중요하지만 수확 후 저장을 통하여 과실의 품질을 장기간 유지하는 것 또한 매우 중요하다. 사과의 수출산업은 수확 후 관리기술 적용을 통하여 과실품질을 장기간 유지함으로써 수출대상국가를 확대시킬 수 있으며 더불어 수출기간 연장을 통해 수출물량을 확대할 수 있다(Park and Yoon, 2012). 그 동안 과실의 저장력 향상을 위하여 수확 후 훈증방법으로 적용하고 있는 1-methylcyclopropene(1-MCP)는 에틸렌 작용억제제(Sisler and Serek, 1997)로서 최근 사과(Lim et al., 2009; Mattheis, 2008; Park et al., 2009; Watkins et al., 2010; Watkins and Nock, 2012; Yoo et al., 2013), 토마토, 바나나, 자두, 복숭아(Blankenship and Dole, 2003, Oh et al., 2007; Watkins, 2006) 등 많은 climacteric형 과실의 에틸렌 발생과 호흡량 억제, 과실 경도 및 산 함량 유지 등 과실품질 향상을 위하여 사용되고 있다.

최근 과실을 수확 전 수체에 살포하는 형태의 1-MCP(3.8% a.i.; Harvista™ AgroFresh Inc., PA, USA)가 개발되어 미국과 캐나다 등에서 ‘McIntosh’, ‘Empire’, ‘Golden Delicious’, ‘Honeycrisp’ 사과에(DeEll and Ehsani-Moghaddam, 2010; McArtney et al., 2009; Watkins et al., 2010; Yuan and Li, 2008) 처리하였을 때 저장 동안 과실의 품질을 유지하는데 우수한 효과를 보인다는 연구가 진행 중이다. 국내에서는 훈증처리용 1-MCP에 대한 연구결과는 있지만 수확 전 수체살포용 1-MCP에 대한 연구는 ‘감홍’ 사과에서만(Yoo et al., 2013) 수행되었고 다른 품종들에 대한 연구는 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 수확 전 수체살포용 1-MCP(Harvista™)와 수확 후 훈증용 1-MCP(SmartFresh™)를 단독 및 혼용처리했을 때 ‘후지’ 사과의 저온저장 중 과실품질에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

실험재료

경상북도 상주시 낙동면 소재의 농가에 재식되어 있는 8

년생 ‘후지’(M.9) 품종을 대상으로 수세가 안정되고 균일한 나무를 선정하여 실험재료로 사용하였다.

수체살포용 1-MCP(Harvista™) 및 훈증용 1-MCP(SmartFresh™) 처리

Harvista™(3.8% a.i. 1-MCP; AgroFresh Inc., PA, USA)의 처리농도는 각각 0, 95, 125, 250mg·L⁻¹의 농도로 수확 3주 전(10월 12일), 2주 전(10월 19일) 및 1주 전(10월 26일)에 ‘후지’ 과실을 대상으로 수체 살포한 후 11월 2일에 수확하였다. Harvista™처리 후 수확한 과실을 두 그룹으로 나누어 한 그룹에는 추가적으로 밀폐된 공간에서 SmartFresh™(3.3% a.i. 1-MCP; AgroFresh Inc., Korea)를 1μL·L⁻¹의 농도로 18시간동안 처리하는 훈증처리구와 무처리구를 두었다. 그리고 저장기간동안 Harvista와 SmartFresh 단독 처리에 따른 과실의 저장성을 비교해 보기 위해서 무처리 과실을 이용하여 SmartFresh를 처리하였다.

과실저장

과실의 저장조건은 온도 0 ± 1°C, 상대습도 90%로 설정하였다. 그리고 저장기간은 180일간 실시하였으며, 과실특성은 저장 90일, 135일, 180일로 하여 45일 간격으로 3회 조사하였다.

과실품질 특성

과실 경도는 직경 11mm plunger를 장착한 과실경도계(Fruit Tester, FT327, EFFEGI, Italy)를 사용하여 과실 적도면에 과피를 제거한 후 과실 당 3회 측정한 값을 평균하여 Newton(N) 값으로 나타내었다. 산 함량은 과즙 5mL를 0.1N NaOH로 적정한 후 사과산으로 환산하였고, 가용성 고형물 함량은 디지털당도계(PR-201α, ATAGO, Japan)를 이용하였으며, 과피의 색도는 색차계(CR-210, MINOLTA, Japan)를 이용하여 측정하였다.

내생에틸렌 발생량

내생에틸렌 발생량은 조사 1일전 과실을 저장고에서 꺼내어 실온(20°C)에서 품온을 평형시킨 후 측정하였다. 1개의 과실을 1반복으로 하여 5개의 과실을 대상으로 1mL 주사기를 꽃받침 부위에 삽입하여 과심 내 gas 1mL를 채취한 뒤 FID(flame ionization detector)를 장착한 Gas Chromatography(GC2010, SHIMADZU, Japan)를 이용하여 측정하였다. 분

석 조건은 Porapak Q(80/100 2m, Youngin Frontier, Korea) column을 이용하여 injector, oven, detector 온도는 각각 100, 90, 200°C로 설정하였으며, flow rate는 He carrier, H₂, Air를 각각 25, 40, 400mL·min⁻¹로 하였다.

통계분석

통계분석은 SPSS 프로그램(IBM SPSS Statistics 20, SPSS Inc., USA)을 이용하여 Duncan 다중검정 및 요인간 상관분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

수확 시 과실 특성

Harvista 처리에 따른 수확 시 과실품질 특성을 보면(Table 1), 과중, 과피 적색도, 내생에틸렌 발생량은 처리간 차이를 보이지 않았고, 경도, 산 및 가용성 고형물 함량은 Harvista 처리 시기와 농도간 통계적 유의성을 다소 보였으나 일관성은 없었다. 따라서 수확 시 과실품질에는 수확 전 Harvista 처리 시기와 농도가 과실품질에 미치는 영향은 없는 것으로 판단된다.

저장기간별 과실 특성

저장기간동안 ‘후지’ 과실의 경도변화를 보면(Table 2),

무처리구는 수확 시 62.3N이었으나 이후 저장 90일부터 180일까지 저장기간이 경과함에 따라 각각 59.6, 57.2, 52.2N으로 과실경도가 감소하였다. 그리고 Harvista 처리구는 살포 시기에 따른 경도 차이는 보이지 않았으나 저장기간이 증가할수록 처리농도가 높은 250mg·L⁻¹ 처리 과실의 경도가 높은 경향을 보였다. 그리고 무처리 과실에 SmartFresh를 처리하여 과실을 저장하였을 때 과실의 경도는 수확 시 62.3N에서 저장 180일 후에 60.4N으로 경도의 감소는 미미하였고, 무처리 과실(52.2N)에 비하여 높은 경도를 유지하였다. Harvista 단독 처리와 Harvista + SmartFresh 혼용처리 과실을 비교해 보면 저장 90일까지는 처리간 차이를 보이지 않지만 저장 135일부터 처리간 차이를 보이기 시작하여 저장 180일 후에는 Harvista + SmartFresh 혼용처리구의 과실 경도가 높은 결과를 보였다. 그리고 SmartFresh 단독처리 과실도 저장 180일 후에 과실의 경도는 Harvista + SmartFresh 혼용처리구와 차이가 없었다. 이는 수확 전 Harvista 처리가 무처리 과실에 비하여 과실의 경도를 높게 유지할 수 있으나 SmartFresh 단독처리와 Harvista + SmartFresh 혼용처리 과실의 경도가 더 높게 유지됨을 확인하였다.

저장기간동안 ‘후지’ 과실의 산 함량의 변화를 보면(Table 3), 무처리구는 수확 시 0.36%이었으나 저장 90일부터 180일 경과시까지 각각 0.33, 0.29, 0.19%로 산 함량이 급격히 감소하였다. Harvista 250mg·L⁻¹ 2, 3주전 처리구와 125mg·L⁻¹ 2주전 처리구의 경우 산 함량은 수확 시 0.37%에서 저장

Table 1. Effect of Harvista^z treatments on fruit quality attributes at harvest in ‘Fuji’ apples in Sangju.

Harvista (mg·L ⁻¹)	Application time (WBH ^y)	Fruit quality attributes					
		Fruit weight (g)	Hunter value <i>a</i> *	Firmness (N/φ11 mm)	SSC (°Brix)	TA (%)	IEC (μL·L ⁻¹)
Control		292.6 a ^x	19.3 a	62.3 abc	13.9 ab	0.36 bcd	2.5 a
95	1	280.1 a	18.3 a	64.3 a	14.2 ab	0.38 abc	3.3 a
	2	298.3 a	18.1 a	60.6 bc	14.1 ab	0.40 ab	3.1 a
	3	272.9 a	17.0 a	59.7 c	13.1 b	0.32 d	2.3 a
125	1	299.2 a	16.0 a	62.7 ab	14.1 ab	0.41 a	3.6 a
	2	288.3 a	17.4 a	61.1 bc	14.3 a	0.37 abc	3.2 a
	3	292.1 a	16.0 a	61.5 bc	13.3 ab	0.35 cd	2.3 a
250	1	302.0 a	16.7 a	60.7 bc	13.6 ab	0.41 ab	3.4 a
	2	281.4 a	18.4 a	63.4 ab	14.1 ab	0.37 bc	3.3 a
	3	296.0 a	17.7 a	60.8 bc	13.3 ab	0.37 abc	3.4 a

^zHarvista: sprayable 1-MCP.

^yWBH weeks before harvest, which was on 2 Nov. 2011.

^xDifferent letters within columns indicate significant difference by Duncan’s multiple range test, *p* = 0.05.

Table 2. Effect of Harvista^z (-) and Harvista + SmartFresh^z (+) treatments on flesh firmness in cold-stored ‘Fuji’ apples.

Harvista (mg·L ⁻¹)	Application time (WBH ^y)	Firmness (N/φ11 mm)							
		Storage duration (days)							
		At harvest	90		135		180		
		-	-	+	-	+	-	+	
Control		62.3 abc ^x	59.6 a	61.8 ab	57.2 cd	61.0 a	52.2 d	60.4 a	
95	1	64.3 a	61.5 a	61.9 ab	61.6 abc	61.2 a	58.6 b	62.0 a	
	2	60.6 bc	59.1 a	59.8 b	58.7 bcd	62.7 a	57.1 bc	61.9 a	
	3	59.7 c	58.4 a	60.9 ab	54.7 d	61.3 a	49.9 d	61.8 a	
125	1	62.7 ab	62.0 a	63.6 a	59.1 bcd	61.7 a	59.2 b	63.1 a	
	2	61.1 bc	61.9 a	63.0 a	63.2 ab	63.5 a	59.5 b	61.3 a	
	3	61.5 bc	63.0 a	61.5 ab	60.8 abc	62.5 a	59.9 b	62.5 a	
250	1	60.7 bc	60.9 a	61.8 ab	60.1 abc	62.5 a	60.8 ab	63.6 a	
	2	63.4 ab	63.0 a	62.4 ab	64.7 a	64.1 a	64.5 a	62.7 a	
	3	60.8 bc	62.1 a	62.0 ab	61.9 abc	62.8 a	60.6 ab	63.5 a	

Harvista (H)^{**}, Application time (T)^{****}, Storage duration (D)^{****}, SmartFresh (S)^{****}
 H×T^{****}, H×D^{*}, H×S^{**}, T×D^{**}, T×S^{**}, D×S^{****}
 H×T×D^{NS}, H×T×S^{NS}, H×D×S^{**}, T×D×S^{*}
 H×T×D×S^{NS}

^zHarvista: sprayable 1-MCP, SmartFresh: fumigation 1-MCP

^yWBH weeks before harvest, which was on 2 Nov. 2011.

^xDifferent letters within columns indicate significant difference by Duncan’s multiple range test, *p* = 0.05.

^{NS,*,**} Nonsignificant or significant at *p* < 0.05, 0.01, or 0.0001, respectively.

Table 3. Effect of Harvista^z (-) and Harvista + SmartFresh^z (+) treatments on titratable acidity in cold-stored ‘Fuji’ apples.

Harvista (mg·L ⁻¹)	Application time (WBH ^y)	Titratable acidity (%)							
		Storage duration (days)							
		At harvest	90		135		180		
		-	-	+	-	+	-	+	
Control		0.36 bcd ^x	0.33 d	0.37 ab	0.29 abc	0.33 cd	0.19 ef	0.31 ab	
95	1	0.38 abc	0.34 cd	0.41 a	0.26 bc	0.33 bcd	0.20 def	0.31 ab	
	2	0.40 ab	0.38 abc	0.40 a	0.31 abc	0.38 a	0.23 cde	0.35 a	
	3	0.32 d	0.28 e	0.30 c	0.26 c	0.29 d	0.17 f	0.28 b	
125	1	0.41 a	0.38 ab	0.40 a	0.28 abc	0.34 bc	0.24 cd	0.32 ab	
	2	0.37 abc	0.39 a	0.39 a	0.33 a	0.35 abc	0.33 a	0.32 ab	
	3	0.35 cd	0.32 d	0.33 bc	0.31 ab	0.33 bcd	0.22 de	0.31 ab	
250	1	0.41 ab	0.37 abc	0.36 ab	0.31 abc	0.33 bcd	0.27 bc	0.33 a	
	2	0.37 abc	0.39 a	0.38 ab	0.33 a	0.32 cd	0.32 a	0.31 ab	
	3	0.37 bcd	0.35 bcd	0.36 ab	0.32 ab	0.37 ab	0.30 ab	0.32 ab	

Harvista (H)^{****}, Application time (T)^{*}, Storage duration (D)^{****}, SmartFresh (S)^{****}
 H×T^{*}, H×D^{**}, H×S^{NS}, T×D^{NS}, T×S^{****}, D×S^{****}
 H×T×D^{NS}, H×T×S^{NS}, H×D×S^{NS}, T×D×S^{NS}
 H×T×D×S^{NS}

^zHarvista: sprayable 1-MCP, SmartFresh: fumigation 1-MCP

^yWBH weeks before harvest, which was on 2 Nov. 2011.

^xDifferent letters within columns indicate significant difference by Duncan’s multiple range test, *p* = 0.05.

^{NS,*,**} Nonsignificant or significant at *p* < 0.05, 0.01, or 0.0001, respectively.

180일 경과한 후에도 각각 0.32, 0.30, 0.33%로 높게 유지되어 정도 변화와 유사한 경향을 보였다. 그리고 Harvista 단독처리와 Harvista + SmartFresh 혼용처리 과실을 비교해 보면 저장 90일까지는 처리간 차이를 보이지 않지만 저장 135일부터 처리간 차이를 보이기 시작하여 저장 180일 후에는 Harvista + SmartFresh 혼용처리 과실의 산 함량이 높은 결과를 보였지만 Harvista 250mg·L⁻¹ 2, 3주전 처리구와는 차이가 없었다. 일반적으로 사과 과실의 저장 중 정도와 산 함량 변화의 최소화는 과실품질을 유지하는 기준으로 이용되고 있다(Park and Yoon, 2006; Park et al., 2011; Yoo et al., 2013). 본 연구결과도 ‘홍로’(Lim et al., 2009; Park et al., 2009), ‘감홍’(Yoo et al., 2013), ‘후지’(Lim et al., 2007; Park et al., 2011), ‘엠파이어’, ‘텔리셔스’(Watkins, 2008; Watkins and Nock, 2005, 2012) 등 사과 품종에 1-MCP 혼증처리가 저장 중 과실의 정도와 산 함량을 높게 유지시켜 과실의 품질을 유지시킨다는 보고와 동일한 결과를 보였다.

저장기간동안 ‘후지’ 과실의 가용성 고형물 함량의 변화를 보면(Table 4), 무처리구와 Harvista 단독처리구, Harvista + SmartFresh 혼용처리구 모두 통계적 유의차를 보이지 않

았다. SmartFresh 처리 시 정도와 산 함량은 높게 유지시키지만 가용성 고형물 함량 변화에 미치는 영향은 없었다(Lim et al. 2007; Watkins et al., 2010)는 연구결과와 동일한 결과를 나타내었다.

내생에틸렌 발생량

Harvista 처리가 ‘후지’ 과실의 저장기간동안 내생에틸렌 발생량에 미치는 영향을 보면 다음과 같다(Table 5). 수확 시에는 처리간 차이가 없이 낮은 에틸렌 발생량을 보였으나, 무처리 과실은 이후 급격히 증가하여 저장 180일 후에는 326.4μL·L⁻¹의 내생에틸렌 발생량을 보였다. 그러나 Harvista 단독처리구는 무처리구에 비하여 낮은 에틸렌 발생량을 보였고, 처리농도가 높을 수록 발생량이 낮아지는 경향을 보였다. 특히, Harvista 250mg·L⁻¹ 2, 3주전 처리구는 저장 180일 후 각각 17.9, 32.4μL·L⁻¹의 내생에틸렌 발생량을 보여 무처리에 비해 5.5-10.0% 수준으로 현저히 낮았다. 따라서 Harvista 250mg·L⁻¹ 2, 3주전 처리가 과실의 내생에틸렌 발생량을 감소시키는데 효과적임을 알 수 있었다. 그리고 Harvista + SmartFresh 혼용처리구는 저장 180일 후 내생에틸렌 발생

Table 4. Effect of Harvista^z (-) and Harvista + SmartFresh^z (+) treatments on soluble solid contents in cold-stored ‘Fuji’ apples.

Harvista (mg·L ⁻¹)	Application time (WBH ^y)	Soluble solid contents (°Brix)							
		Storage duration (days)							
		At harvest		90		135		180	
		-	-	+	-	+	-	+	
Control		13.9 ab ^x	13.9 ab	14.3 abc	14.2 ab	14.4 abc	13.9 abc	14.4 ab	
95	1	14.2 ab	14.5 a	14.9 a	14.7 a	14.7 ab	14.9 a	14.3 ab	
	2	14.1 ab	13.6 ab	13.8 bcd	14.3 ab	14.8 a	14.5 ab	14.9 a	
	3	13.1 b	13.1 b	12.9 e	12.8 d	12.9 d	13.2 c	13.0 c	
125	1	14.1 ab	14.0 ab	14.4 ab	14.3 ab	14.3 abc	14.8 a	14.3 ab	
	2	14.3 a	14.0 ab	13.9 bcd	14.0 abc	14.7 ab	14.2 abc	14.3 ab	
	3	13.3 ab	13.4 b	13.5 cde	13.3 cd	13.6 cd	13.3 bc	13.5 bc	
250	1	13.6 ab	13.7 ab	14.1 bcd	14.1 abc	14.0 bc	14.3 abc	14.1 ab	
	2	14.1 ab	14.0 ab	13.5 de	14.3 ab	13.6 cd	14.5 ab	13.5 bc	
	3	13.3 ab	13.4 ab	13.5 de	13.6 bc	14.1 abc	13.5 bc	13.9 abc	

Harvista (H)^{NS}, Application time (T)^{NS}, Storage duration (D)^{NS}, SmartFresh (S)^{NS}
H×T^{NS}, H×D^{NS}, H×S^{NS}, T×D^{NS}, T×S^{NS}, D×S^{NS}
H×T×D^{NS}, H×T×S^{NS}, H×D×S^{NS}, T×D×S^{NS}
H×T×D×S^{NS}

^zHarvista: sprayable 1-MCP, SmartFresh: fumigation 1-MCP

^yWBH weeks before harvest, which was on 2 Nov. 2011.

^xDifferent letters within columns indicate significant difference by Duncan’s multiple range test, $p = 0.05$.

^{NS,*,**,*}Nonsignificant or significant at $p < 0.05, 0.01, \text{ or } 0.0001$, respectively.

Table 5. Effect of Harvista^z (-) and Harvista + SmartFresh^z (+) treatments on internal ethylene concentration in cold-stored 'Fuji' apples.

Harvista (mg·L ⁻¹)	Application time (WBH ^z)	Internal ethylene concentration (μL·L ⁻¹)						
		Storage duration (days)						
		At harvest	90		135		180	
		-	-	+	-	+	-	+
Control		2.5 a ^y	139.5 a	1.2 b	186.6 ab	1.4 a	326.4 a	1.1 b
95	1	3.3 a	58.1 b	2.6 a	88.7 bcd	1.5 a	171.4 b	1.2 b
	2	3.1 a	55.0 b	1.2 ab	78.2 cd	1.6 a	177.7 b	1.2 b
	3	2.3 a	153.0 a	1.3 ab	248.2 a	1.3 a	357.5 a	1.2 b
125	1	3.6 a	32.0 bc	1.5 ab	140.2 bc	1.4 a	161.5 b	1.2 b
	2	3.2 a	27.6 bc	1.3 ab	42.1 cd	1.8 a	111.9 bc	1.2 b
	3	2.3 a	35.7 bc	1.4 ab	80.4 cd	1.8 a	159.3 b	1.5 b
250	1	3.4 a	39.1 bc	1.0 b	56.1 cd	2.2 a	87.5 bc	1.1 b
	2	3.3 a	2.9 c	1.0 b	3.8 d	1.3 a	17.9 c	1.4 b
	3	3.4 a	3.9 c	1.4 ab	22.2 d	2.4 a	32.4 c	2.0 a

Harvista (H)^{**}, Application time (T)^{****}, Storage duration (D)^{****}, SmartFresh (S)^{****}
 H×T^{****}, H×D^{*}, H×S^{***}, T×D^{****}, T×S^{****}, D×S^{****}
 H×T×D^{**}, H×T×S^{****}, H×D×S^{NS}, T×D×S^{***}
 H×T×D×S^{NS}

^zHarvista: sprayable 1-MCP, SmartFresh: fumigation 1-MCP

^yWBH stands for weeks before harvest, which was on 2 Nov. 2011.

^xMeans separation within columns by Duncan's multiple range test, *p* = 0.05.

^{NS,*,**,*}Nonsignificant or significant at *p* < 0.05, 0.01, or 0.0001, respectively.

량이 1.1-2.0μL·L⁻¹로 수확 전 약제처리 시기와 농도에 상관 없이 매우 낮은 에틸렌 발생량을 보였으며, Harvista 단독처리 보다는 Harvista + SmartFresh 혼용처리 과실에서 더 낮은 에틸렌 발생량을 보였다. 이는 SmartFresh 처리가 사과, 복숭아, 바나나, 토마토 그리고 자두 등에 처리하였을 때 과실의 내생에틸렌발생을 현저히 억제시켰다는(Choi, 2005; Lim et al., 2009; Oh et al., 2007; Park and Yoon, 2012; Sisler and Serek, 1997; Watkins, 2006, 2008; Yoo et al., 2013; Yuan and Li, 2008) 결과와 동일하였다. 따라서 본 결과에서는 수확 후 SmartFresh 처리만으로도 과실의 내생에틸렌 발생량을 현저히 억제시키는 효과가 있지만, 수확 전 Harvista 250mg·L⁻¹ 2, 3주전 처리 과실도 내생에틸렌 발생량을 현저히 감소시켰으므로 저장 중 과실 품질을 유지하는데 효과가 있다고 판단되었다.

상관분석

Harvista 및 SmartFresh 처리가 저장기간에 따라 경도, 산 함량, 가용성 고형물 함량 및 내생에틸렌 발생량에 상이한 상관관계를 보이고 있다(Fig. 1). Harvista 처리시 처리농도

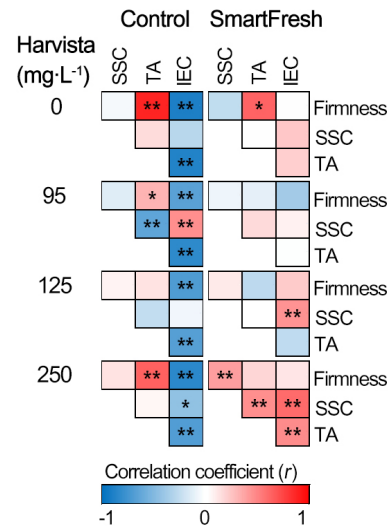


Fig. 1. Pearson correlation coefficient (*r*) for flesh firmness, soluble solids content (SSC), titratable acidity (TA), internal ethylene concentration (IEC) in four different and overall preharvest and postharvest 1-methylcyclopropene treatments in cold stored 'Fuji' apples. Red and blue colors indicate positive and negative correlation between fruit quality attributes, respectively. Asterisk (* or **) indicates statistically significant correlation at *p* < 0.05 or *p* < 0.01, respectively. Harvista: sprayable 1-MCP, SmartFresh: fumigation 1-MCP.

와 무관하게 산 함량은 경도와 정의 상관관계를 보인 반면, 내생에틸렌 발생량과 경도 또는 산 함량과는 부의 상관관계를 나타내고 있다. 이는 내생에틸렌 발생량이 증가함에 따라 경도와 산 함량이 감소하게 되는 결과와 동일하였다(Lim et al., 2007; Park et al., 2011). Harvista + SmartFresh 혼용 처리 시 상관변수들간 뚜렷한 경향을 보이지 않으나 Harvista 250mg·L⁻¹와 SmartFresh 처리시 변수간 많은 정의 상관관계를 나타내었다. 이것은 저장기간동안 경도, 산 함량, 가용성 고형물 함량 및 내생에틸렌 발생량의 변화가 크지 않아서 변수간에 정의 상관관계를 보이는 것으로 해석된다. 또한 경도 및 산 함량의 변화와는 달리 가용성 고형물 함량의 변화는 일반적으로 내생에틸렌 발생과 독립적인 기작에 의해서 발생하기 때문에 Harvista와 Harvista + SmartFresh 혼용처리에 따른 가용성 고형물 함량의 변화가 적은 것으로 판단되며 또한 1-MCP처리 유무와 상관없이 저장기간동안 통계적 유의성을 나타내지 않았다.

이상의 결과를 종합해 보면 ‘후지’ 사과의 저장성향상을 위해서는 수확 후 SmartFresh처리만으로 과실품질을 유지할 수 있지만 SmartFresh의 경우 과실을 일시에 수확하여 처리하여야 하는 단점이 있다. 그러나 수확 전 Harvista를 수확 전 2주 혹은 3주전에 250mg·L⁻¹ 농도로 처리할 경우 과실품질이 SmartFresh 처리과실과 큰 차이가 없고 또한 과실을 일시 수확하지 않고 분할 수확하여 저장을 할 수 있다는 장점도 있다. 따라서 ‘후지’ 사과에 수확 전 Harvista 처리가 저장 중 과실품질을 유지하는데 효과가 있다고 판단되어 실용화 가능성을 보여주었다.

초 록

본 연구는 수확 전 수체살포용 1-MCP(HarvistaTM)와 수확 후 혼용용 1-MCP(SmartFreshTM) 처리가 ‘후지’ 사과의 품질과 저장성에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다. HarvistaTM 처리는 수확 1, 2, 3주전 0, 95, 125, 250 mg·L⁻¹ 농도로 각각 처리하였으며, SmartFreshTM 처리는 수확 1일 후 밀폐된 공간에서 1μL·L⁻¹의 농도로 18시간동안 처리하였다. 과실저장은 0 ± 1°C 조건에서 180일간 저장하였다. HarvistaTM 처리에 따른 수확 시 과실품질을 보면 과중, 과피 적색도, 내생에틸렌 발생량, 경도, 산 및 가용성 고형물 함량은 무처리구와 차이가 없었다. 저온저장동안 ‘후지’ 사과의 품질변화를 보면 HarvistaTM를 250mg·L⁻¹의 농도로 2, 3주전에 처리한 과실이 무처리구에 비하여 과실 경도 및 산 함량이 더 높게 유지

되었으며, 내생에틸렌 발생량도 무처리구에 비하여 5.5-10.0% 수준으로 현저히 낮았다. 그리고 저장기간 중 가용성고형물 함량은 차이를 보이지 않았다. HarvistaTM 단독처리와 HarvistaTM + SmartFreshTM 혼용처리구는 경도, 산 함량, 내생에틸렌 발생량 모두 저장 180일 후에도 수확 시와 큰 차이를 보이지 않아 과실품질이 유지되었다. 요인간 상관분석은 HarvistaTM 처리시 처리농도와 무관하게 내생에틸렌 발생량이 경도 또는 산 함량과 부의 상관관계를 나타냈다. 그리고 HarvistaTM + SmartFreshTM 혼용처리 시 HarvistaTM 250mg·L⁻¹와 SmartFreshTM 처리가 변수간 정의 상관관계를 나타내었다. 따라서, 수확 후 SmartFreshTM처리에 의한 과실품질유지 효과와 함께, 고농도의 HarvistaTM처리 또한 저온저장 중 과실품질 유지에도 큰 효과를 보였다.

추가 주요어: 경도, HarvistaTM, 내생에틸렌 발생량, SmartFreshTM, 산 함량

인용문헌

- Blankenship, S.M. and J.M. Dole. 2003. 1-Methylcyclopropene: A review. *Postharvest Biol. Technol.* 28:1-25.
- Choi, S.J. 2005. Comparison of the change in quality and ethylene production between apple and peach fruits treated with 1-methylcyclopropene (1-MCP). *Kor. J. Food Preserv.* 12:511-515.
- DeEll, J.R. and B. Ehsani-Moghaddam. 2010. Preharvest 1-methylcyclopropene treatment reduces soft scald in ‘Honeycrisp’ apples during storage. *HortScience* 45:414-417.
- Lim, B.S., S.Y. Oh, J.W. Lee, and Y.S. Hwang. 2007. Influence of 1-methylcyclopropene treatment time on the fruit quality in the ‘Fuji’ apple (*Malus domestica*). *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 25:191-195.
- Lim, B.S., Y.M. Park, Y.S. Hwang, G.R. Do, and K.H. Kim. 2009. Influence of ethylene and 1-methylcyclopropene treatment on the storage quality of ‘Hongro’ apples. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27:607-611.
- Mattheis, J.P. 2008. How 1-methylcyclopropene has altered the Washington state apple industry. *HortScience* 43:99-101.
- McArtney, S.J., J.D. Obermiller, T. Hoyt, and M.L. Parker. 2009. ‘Law Rome’ and ‘Golden Delicious’ apples differ in their response to preharvest and postharvest 1-methylcyclopropene treatment combinations. *HortScience* 44:1632-1636.
- Oh, S.Y., B.S. Lim, J.W. Lee, and K.R. Do. 2007. 1-Methylcyclopropene increases the shelf-life of ‘Ooishiwase’ plums (*Prunus salicina* L.). *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 25:369-374.

- Park, H.G., B.S. Lim, and Y.M. Park. 2009. Effects of 1-methylcyclopropene treatment and controlled atmosphere storage on poststorage metabolism and quality of 'Hongro' apples. *Hort. Environ. Biotechnol.* 50:313-318.
- Park, Y.M., H.G. Park, and B.S. Lim. 2011. Analysis of postharvest 1-MCP treatment and CA storage effects on quality changes of 'Fuji' apples during export simulation. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29:224-231.
- Park, Y.M. and T.M. Yoon. 2006. Impact of storage method and shelf temperature on quality attributes and physiological metabolism of 'Fuji' apples. *Hort. Environ. Biotechnol.* 47: 138-143.
- Park, Y.M. and T.M. Yoon. 2012. Effects of postharvest 1-MCP treatment, storage method, and shelf temperature on quality changes of 'Gamhong' apples during export simulation. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 30:725-733.
- Sisler, E.C. and M. Serek. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: Recent developments. *Physiol. Plant.* 100:577-582.
- Watkins, C.B. 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnol. Adv.* 24:389-409.
- Watkins, C.B. 2008. Overview of 1-methylcyclopropene trials and uses for edible horticultural crops. *HortScience* 43:86-94.
- Watkins, C.B., H. James, J.F. Nock, N. Reed, and R.L. Oakes. 2010. Preharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) to control fruit drop of apples, and its effects on postharvest quality. *Acta Hort.* 877:365-374.
- Watkins, C.B. and J.F. Nock. 2005. Effects of delays between harvest and 1-methylcyclopropene treatment, and temperature during treatment, on ripening of air-stored and controlled-atmosphere-stored apples. *HortScience* 40:2096-2101.
- Watkins, C.B. and J.F. Nock. 2012. Rapid 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment and delayed controlled atmosphere storage of apples. *Postharvest Biol. Technol.* 69:24-31.
- Yoo, J.G., D.H. Kim, J. Lee, D.G. Choi, J.S. Han, S.I. Kwon, H.J. Kweon, and I.K. Kang. 2013. Effect of preharvest sprayable 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on fruit quality attributes in cold stored 'Gamhong' apples. *Protected Hort. Plant Factory* 22:279-283.
- Yuan, R. and J. Li. 2008. Effect of sprayable 1-MCP, AVG, and NAA on ethylene biosynthesis, preharvest fruit drop, fruit maturity, and quality of 'Delicious' apples. *HortScience* 43:1454-1460.